

ウメの連作障害に関する研究 (第4報) 未利用資源を原料としたウメ連作障害対策用 木炭の開発

大江孝明¹・橋本千賀子^{2,4}・西原英治³・水口裕介^{3,4}・城村徳明¹・岡室美絵子^{1,4}

¹和歌山県果樹試験場うめ研究所

²和歌山県林業試験場

³鳥取大学農学部

Studies on Replant Failure of Japanese Apricot Tree

**. Development of Wood Charcoal Made from Unused Resources for Continuous Cropping in
Japanese Apricot Tree**

Takaaki Oe¹, Chikako Hashimoto^{2,4}, Eiji Nishihara³, Yusuke Mizuguchi^{3,4}, Noriaki Jomura¹ and Mieko Okamuro^{1,4}

¹Laboratory of Japanese Apricot, Fruit Tree Experiment Station, Wakayama Prefecture

²Forestry Experiment Station, Wakayama Prefecture

³Faculty of Agriculture, Tottori University

緒言

ウメの経済樹齢は25年程度とされており、和歌山県の産地では改植が進められているが、その際に連作障害が問題となる。その要因として連作障害の発生しやすいモモでは、根に含まれる生育阻害物質の関与が明らかにされている(Gur and Cohen, 1988; 平野, 1977; 水谷, 1979; Mizutani et al., 1988; Ohigashi, 1982)。ウメでは、1)‘南高’の根域に他のウメ樹の根やその水抽出液が存在すると夏季の葉中窒素含有率が低くなり樹体生育が抑制されること、2)青酸配糖体の1種のアミグダリンやその分解物の安息香酸を根域に与えると樹体成長が抑制されることを明らかにした(大江ら, 2003)。また、実際のウメ連作土壌が生育阻害性を有することを明らかにするとともに、生育阻害要因としてフェノール性物質が関与することを示した(大江ら, 2018)。さらに、ウメ根および連作土壌の生育阻害性低減に効果が高い活性炭を選抜し、選抜した活性炭のウメ連作ほ場での効果を確認した(大江ら, 2019a)。

一方、和歌山県において大量に発生する果樹剪定枝や林業における間伐材等のバイオマスの活用が求められている(玄地ら, 2009; 橋本ら, 2013)。それらを炭化して活用することは、炭素隔離効果の点からも有効な活用方法である。炭化物の特性は、炭化材料や炭化温度によって大きく異なることがわかってきており(瀧口ら, 2006; 橋本ら, 2013)、用途に合わせた炭化物の選択が必要である。ウメの未利用資源の炭化事例について、種子(核)の炭化物は活性炭と同様に水質浄化に

⁴現在：退職

利用できることが示されている（本間・馬場，2014）。また，橋本ら（2013）は，ウメせん定枝や間伐材等を原料とした炭化物を作出し，ウメ根に含まれるフェノール性物質の吸着能やレタスの根伸長阻害軽減能を調査してウメ連作障害対策に有効と考えられる炭化条件を見いだしている。しかし，炭化物のウメの樹体生育に及ぼす影響については明らかでない。

そこで本研究では，これまでにウメ連作障害軽減効果が確認された活性炭よりも安価な炭資材を作出することを目的とし，実際のウメでの生育改善効果等をもとに，未利用資源を原料とした連作障害対策に有効な木炭の作出方法を調査した。

材料および方法

1. 木炭の検定植物の生育阻害活性低減能とウメ根含有物質吸着能との関係（試験1）

既報（大江ら，2018）および橋本ら（2013）と同様，元木ら（2006）の方法により，2009年に生育阻害活性を測定した。すなわち，6穴マルチディッシュ（ヌンク製）に和歌山県日高郡みなべ町内の樹勢が低下した樹の根域より採取した土壌（以下，連作土）3gと木炭0.3gを混和して入れ，オートクレーブをかけた0.75%（W/V）低温ゲル化寒天（ナカライ製）5mlで固定化した後，5mlの0.75%低温ゲル化寒天を重層し固化させた。その上に検定植物としてレタス‘グレートレックス366’を1穴当たり5粒播種した。土壌無添加（寒天のみ）および土壌を添加し木炭無添加の区（以下，無添加区）も設置し，3日間20℃のインキュベーター内で生育させた後，根長を調査して土壌無添加に対する伸長阻害率を $(1 - \text{各試験区の根長} \div \text{寒天のみの土壌無添加区の根長}) \times 100$ として算出した。木炭は橋本ら（2013）が用いたものも含め，ヒノキ，スギ，カシ，タケ，ウメ，ヒノキ樹皮およびスギ樹皮を材料とし，ウメについては太さを小（徒長枝），中（直径10cm以下の徒長枝を除く枝）および大（直径10cm以上の枝）の3段階に分けて用いた。炭化温度は300～1000℃として炭化装置（CE-80，Thermal）や黒炭窯を用いて作出し，木炭は1mmの篩を通して用いた。また，市販の白炭（ウバメガシ）および黒炭（コナラ）並びに既報（大江ら，2019b）で連作障害軽減作用が確認された活性炭S（大阪ガスケミカル製）を用いて同様に根の伸長阻害率を調査した。

次に，2009年11月に和歌山県うめ研究所内植栽の複数のウメ樹より，おおよそ直径が1.5cm以下の根を採取して1～3cm程度の長さに切断し，20倍重量の水道水に3日間浸漬した。このウメ根の水抽出液（以下，根水抽出液と省略）20mlに先述の木炭および活性炭を0.5g添加後，約3時間放置した。その後，ろ紙（アドバンテック No.2）および0.45μmのメンブレンフィルターでろ過した後，フェノール性物質量を既報（大江ら，2018）と同様にFolin-Ciocalteu法で測定し，クロロゲン酸相当量で求めた。また，青酸配糖体の一種のプルナシン並びにその分解物であるベンズアルデヒドおよび安息香酸を測定した。定量方法については既報（大江ら，2003）と同様，精製は寺田・山本（1990）のSep-pak C₁₈（Waters製）を用いた方法で行い，定量は大坪・池田（1994）のODSカラムを用いた方法でHPLCにより測定した。対照として，木炭および活性炭を添加せずろ過のみした根抽出液を測定した。

2. 木炭の混和がポット植えウメ幼木の生育に及ぼす影響（試験2）

2009年にうめ研究所内より採取した連作土（褐色森林土）およびウメ未栽培土壌（以下，新土）を供試した。30Lポットに入れて1年生‘南高’（実生台）を12月15日に定植する際，それぞれの土壌について，ヒノキを700または900℃で炭化した木炭（以下，ヒノキ700炭，ヒノキ900炭）

を5%または10% (DW/V) 混和して定植した。なお、木炭は5mmの篩を通して用いた。対照として連作土に木炭を無混和の区、新土に木炭を無混和の区も設置した。各区4~5反復で、定植時の平均幹径が各区とも同じになるように仕分けをしたうえで所内ポット園で育成した。施肥は肥効調節型肥料(180日タイプと40日タイプを等量混合, N: P: K=14: 11: 13)を2010年1月26日に400gずつ表層施用した。5~6月に新梢伸長停止率(10cm以上の新梢を対象)を、2009年12月および2010年10月に幹径を調査するとともに、10月1~7日に樹体を掘り上げて、葉を除いた新梢、主幹、根幹、細根(直径2mm以下)および太根(直径2mm以上)の各器官に分け、総新梢長を測定するとともに、80℃で3日以上乾燥させて乾物重を測定した。

3. ウメを原料とした木炭の混和がポット植えウメ幼木の生育に及ぼす影響(試験3)

2008年にうめ研究所より採取した連作土および新土を供試した。12月16日に1年生‘南高’苗を25Lポットに定植する際、連作土、新土それぞれについて、炭化装置でウメ徒長枝を900℃で炭化した木炭(以下、ウメ徒長枝900℃炭)を1.5%(DW/V)混和する区としない区を設置した。各区5反復で定植時の平均幹径が各区とも同じになるように仕分けをしたうえで野外で育成し、施肥は肥効調節型肥料180日タイプを2009年1月26日に200gずつ表層施用した。5~6月に新梢伸長停止率(10cm以上の新梢を対象)を、2008年12月、2009年5月および9月に幹径を調査するとともに、9月24日に樹体を掘り上げて、葉を除いた新梢、主幹、根幹、細根(直径2mm以下)および太根(直径2mm以上)の各器官に分け、総新梢長を1次伸長および2次伸長に分けて測定するとともに、80℃で3日以上乾燥させて乾物重を測定した。

4. 連作ほ場における木炭の混和がウメ幼木の生育に及ぼす影響(試験4)

2010年10~12月にうめ研究所内植栽の樹勢が低下した34年生‘南高’4樹を掘りあげ、各根域の土壌を重機で均質化した。約200L(80×80×30cm程度)の植穴容量で一部は薬剤(クロルピクリン、南海化学)により植穴周辺を土壌消毒したうえで、それぞれ2種類の木炭を2%(DW/V)混和する区と無混和の区を設置した。木炭は炭化装置によりヒノキを700℃で炭化したヒノキ700℃炭、黒炭窯により最大700℃程度でウメ徒長枝を炭化したウメ徒長枝700℃炭を用いた。定植時の平均幹径が各区とも同じになるように区分けし、2011年1月に1年生‘南高’苗を定植した。施肥は肥効調節型肥料(180日タイプと40日タイプを等量混合)を2011年1月26日に360gずつ表層施用した。2010年12月および2011年11月に幹径を調査するとともに、2011年11月14日~15日に樹体を掘り上げて、葉を除いた新梢、主幹、根幹、細根(直径2mm以下)および太根(直径2mm以上)の各器官に分け、80℃で3日以上乾燥させて乾物重を測定した。

5. ウメ伐採樹の炭化方法の違いが連作ほ場植栽のウメ幼木の生育に及ぼす影響(試験5)

2011年10月にうめ研究所内植栽の樹勢が低下した35年生‘南高’4樹を掘りあげ、各根域の土壌を重機で均質化した。約150L(70×70×30cm程度)の植穴容量で試験4と同様に、薬剤により土壌消毒する区としない区を設置し、それぞれ4種類の木炭を2%(DW/V)混和する区と無混和の区を設置した。木炭は炭化装置によりヒノキを650℃で炭化したヒノキ650℃炭、炭化装置によりウメの2年枝以上の枝を650℃で炭化したウメ2年枝650℃炭、白炭窯により最大850℃程度でウメ2年枝以上の枝を炭化したウメ2年枝850℃炭、炭化装置により最大650℃程度でウメ徒長枝を炭化したウメ徒長枝650℃炭を用いた。なお、比表面積を窒素ガス吸着法で測定したところ、ヒノキ炭は

323m²/g, ウメ 2 年枝 650 炭は 237m²/g, ウメ 2 年枝 850 炭は 275m²/g, ウメ徒長枝 650 炭は 30m²/g であった。2012 年 2 月 20 日に 1 年生‘南高’苗を 3~4 反復で定植し, 施肥は肥効調節型肥料 (180 日タイプと 40 日タイプを等量混合) を定植時に 720g ずつ表層施用した。2010 年 11 月 19 日に幹径を調査するとともに, 樹体を掘り上げて, 葉を除いた新梢, 主幹, 根幹, 細根 (直径 2mm 以下) および太根 (直径 2mm 以上) の各器官に分け, 80 °C で 3 日以上乾燥させて乾物重を測定した。

6. 簡易炭化炉で炭化したウメ炭の理化学特性および生育阻害軽減効果 (試験 6)

2008 年秋にうめ研究所内で伐採したウメ樹の枝を直径 10~15cm, 直径 10cm 以下 (徒長枝を除く) および徒長枝に分け降雨遮断条件で約 1 年間保管し, 2009 年 11 月に 200L および 700L 容量の市販簡易炭化炉 (簡単スミヤケール, ファインテクノタケダ製) で炭化し, 太枝炭, 細枝炭および徒長枝炭とした。炉内中央部の高さ 10cm で炭化温度を測定するとともに, 木炭の理化学特性として, pH, メチレンブルー吸着能および比表面積を測定した。橋本ら (2013) と同様, メチレンブルー吸着能はメチレンブルー水溶液 600mg/kg を用い, $(1 - \text{炭} 0.15 \text{ mg 添加時の濃度} \div \text{初期濃度}) \times 100$ として求め, 比表面積は窒素ガス吸着法で測定した。また, 試験 1 と同様に幼植物による生育阻害軽減能並びにフェノール性物質, プルナシン, ベンズアルデヒドおよび安息香酸を測定した。

結 果

1. 木炭の検定植物の生育阻害活性低減能とウメ根含有物質吸着能との関係 (試験 1)

生育阻害活性低減能について, 検定植物 (レタス) の根の伸長阻害率は木炭 No1 および No2 が 10% 未満と低く, 活性炭と同程度であった (表 1)。根抽出液中のフェノール性物質, プルナシン, ベンズアルデヒドおよび安息香酸は, 活性炭を添加した区と木炭 No1, 3 および 6 を添加した区において検出されなかった (表 2)。測定した成分のうち, 根水抽出液への木炭添加後の安息香酸量と検定植物の根の伸長阻害率との間には強い正の相関関係がみられた (図 1)。

表1 各種木炭、活性炭の連作土への添加と
検定植物の根の伸長阻害率²

根伸長 阻害率(%)		根伸長 阻害率(%)		根伸長 阻害率(%)	
活性炭	5	No12	27	No25	53
<木炭>		No13	34	No26	58
No1	-4	No14	36	No27	63
No2	9	No15	36	No28	65
No3	11	No16	38	No29	67
No4	17	No17	39	No30	69
No5	19	No18	40	No31	74
No6	21	No19	41	No32	81
No7	23	No20	47	No33	84
No8	24	No21	49	No34	86
No9	25	No22	50		
No10	25	No23	51	無添加 ³	79
No11	26	No24	51		

²寒天のみ(土壌無添加)に対する阻害率

³土壌を添加し木炭無添加

2. 木炭の混和がポット植えウメ幼木の生育に及ぼす影響 (試験 2)

新梢伸長停止率は, 連作土の炭無混和区に比べて木炭を 10% 混和した区および新土の炭無混和で低く推移した (表 3)。総新梢長は, 連作土および新土の炭無混和区に比べて木炭を混和したすべての区で長く, 特に 10% 混和した区で長い傾向であった。試験終了時点の幹径は, 連作土および新土の炭無混和区に比べて木炭を混和したすべての区で大きく, 特に 10% 混和した区で大きい傾向であった (表 4)。解体時の乾物重は, 新梢, 主幹, 地上部および全体では連作土および新土の炭無混和区に比べて木炭を混和したすべての区で重く, 根幹および地下部では連作土の炭無混和区に比べて木炭を混和したすべての区で重く, 細根では連作土の炭無混和区に比べてヒノキ 900 炭区が重く, 太根では連作土の炭無混和区に比べて 10% 混和した区で重かった (表 5)。

表2 根水抽出液への木炭、活性炭の添加後の各成分含量

	フェノール性物質 (mgCE/L) ^z	プルナシン (mg/L)	ベンズアルデヒド (mg/L)	安息香酸 (mg/L)
無処理	140	3.9	0.8	15.6
活性炭	-11	0	0	0.0
<木炭>				
No1	-12	0	0	0.0
No2	78	0	0	1.0
No3	-11	0	0	0.0
No4	110	0	0	13.5
No5	12	0	0	2.7
No6	-10	0	0	0.0
No7	-10	0	0	0.4
No8	-9	0	0	0.1
No9	74	2.4	0.5	3.4
No10	131	5.6	0.9	3.4
No11	47	0	0	12.0
No12	26	0	0	8.7
No13	128	4.3	0.7	8.9
No14	-9	0	0	0.1
No15	67	0	0	12.6
No16	106	4.0	0.6	5.5
No17	137	4.9	0.8	8.1
No18	33	0	0	10.9
No19	61	0	0	6.9
No20	126	3.9	0.7	12.1
No21	-11	0	0	0.1
No22	39	0	0	21.5
No23	30	0	0	0.6
No24	-8	0	0	2.7
No25	123	1.7	0.5	13.8
No26	152	6.0	0.9	13.8
No27	-8	0	0	0.3
No28	61	0	0	12.1
No29	86	0.7	0	13.5
No30	43	0	0	10.9
No31	57	0	0.3	12.6
No32	101	1.5	0.6	14.0
No33	117	2.9	0.5	14.2
No34	61	0.7	0.2	6.2

^zCEはクロロゲン酸相当量を示す

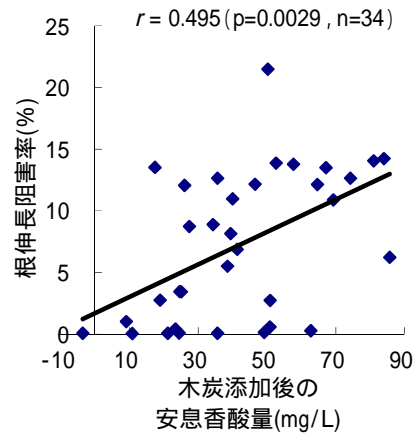


図1 根水抽出液へ木炭添加後の安息香酸量と検定植物の根伸長阻害率との関係

表3 木炭の種類および混和割合とポット植栽樹の新梢伸長

	混和割合 (DW/V)	新梢伸長停止率 (%) ^z						総新梢長 (cm)
		5/12	5/19	5/26	6/2	6/9	6/16	
連作土	無混和	93	99	100	100	100	100	615 ± 95 ^y b ^x
	ヒノキ700 炭 ^w	5%	91	96	97	97	98	1399 ± 110 a
	ヒノキ700 炭	10%	34	49	65	65	70	1808 ± 78 a
	ヒノキ900 炭	10%	19	29	36	41	43	1743 ± 65 a
新土	無混和	28	60	64	68	68	79	872 ± 99 b

^z10cm以上の新梢を対象

^y平均値 ± 標準誤差 (n=4-5)

^xTukey-Kramerの多重検定により異符号間に5%水準で有意差があることを示す

^w温度は炭化温度

表4 木炭の種類および混和割合とポット植栽樹の幹径 (mm)

	混和割合 (DW/V)	2009年		2010年	
		12/15	10/17	10/17	
連作土	無混和		10.8	13.1 ± 0.4 ^z	c ^y
	ヒノキ700 炭 ^x	5%	10.8	20.4 ± 0.6	b
	ヒノキ700 炭	10%	10.8	22.3 ± 0.4	ab
	ヒノキ900 炭	10%	10.8	23.9 ± 1.1	a
新土	無混和		10.8	15.5 ± 0.5	c

^z平均値 ± 標準誤差 (n=5)

^yTukey-Kramerの多重検定により異符号間に5%水準で有意差があることを示す

^x温度は炭化温度

表5 木炭の種類および混和割合とポット植栽樹の器官別乾物重(g)

	混和割合 (DW/V)	器官別乾物重 (g)									
		新梢	主幹	根幹	細根 ^z	太根 ^z	地上部	地下部	全体		
連作土	無混和	35 d ^y	37 d	34 b	19 b	24 c	72 d	77 c	149 ± 15 ^x	c	
	ヒノキ700 炭 ^w	5%	185 c	89 c	90 a	52 ab	67 abc	274 c	208 ab	482 ± 49	b
	ヒノキ700 炭	10%	259 ab	115 ab	94 a	69 ab	101 a	374 ab	264 ab	638 ± 39	ab
	ヒノキ900 炭	10%	295 a	118 a	95 a	118 a	92 ab	413 a	304 a	718 ± 65	a
新土	無混和	68 d	54 d	56 ab	44 ab	51 bc	122 d	152 bc	273 ± 12	c	

^z細根は直径0.2cm以下、太根0.2cm以上

^yTukey-Kramerの多重検定により異符号間に5%水準で有意差があることを示す

^x平均値 ± 標準誤差 (n=4-5)

^w温度は炭化温度

3. ウメを原料とした木炭の混和がポット植えウメ幼木の生育に及ぼす影響 (試験3)

新梢伸長停止率は各区間に大差がなく、新梢の1次伸長は新土のウメ徒長枝900炭混和区が連作土のウメ徒長枝900炭区および無混和区に比べて長く、総新梢長は新土のウメ徒長枝900炭区が他の区に比べて長い傾向であった(表6)。解体時点の幹径(乾燥後測定)は、新土および連作土のウメ徒長枝900炭区が連作土の無混和区に比べて大きく、新土の無処理区に比べて大きい傾向であった(表7)。解体時の乾物重は、新梢および地上部では新土のウメ徒長枝900炭が新土および連作土の無混和区に比べて重く、主幹では新土のウメ徒長枝900炭区が連作

表6 新土、連作土へのウメを原料とした木炭の混和とポット植栽樹の新梢伸長

	新梢伸長停止率 (%) ^z	新梢伸長停止率 (%) ^z						新梢長 (cm)			
								1次伸長	2次伸長	総新梢長	
		5/15	5/21	5/27	6/2	6/8	6/14				
新土	ウメ徒長枝900 炭 ^y	68	73	98	99	100	100	773 a ^x	29 a	802 ± 42 ^w	a
	無混和	74	77	98	98	98	99	658 ab	6 a	664 ± 46	a
連作土	ウメ徒長枝900 炭	66	68	92	93	94	97	580 b	89 a	669 ± 33	a
	無混和	65	67	92	95	97	97	588 b	94 a	682 ± 37	a

^z調査対象は10cm以上の新梢

^y木炭の混和割合は1.5% (DW/V)

^xTukeyの多重検定により異符号間に5%水準で有意差あり (n=5)

^w平均値 ± 標準誤差

土のウメ徒長枝900炭区および無混和区に比べて重く、地下部では新土のウメ徒長枝900炭区が連作土の無混和区に比べて重かった(表8)。全体では、新土のウメ徒長枝900炭区が連作土のウメ徒長枝900炭区および無混和区に比べて重く、連作土の無混和区が他の区に比べて軽い傾向であった。

表7 新土、連作土へのウメを原料とした木炭の混和とポット植栽樹の幹径 (mm)

		2008年		2009年	
		12/17	5/15	9/24 ^z	
新土	ウメ徒長枝900 炭 ^y	13.6	13.9	17.4 ± 0.2 ^x	a ^w
	無混和	13.6	13.7	16.4 ± 0.2	bc
連作土	ウメ徒長枝900 炭	13.6	13.8	17.2 ± 0.2	ab
	無混和	13.6	13.5	16.1 ± 0.1	c

^z9/24は乾燥後に測定

^y木炭の混和割合は1.5% (DW/V)

^x平均値 ± 標準誤差 (n=5)

^wTukeyの多重検定により異符号間に1%水準で有意差があることを示す

表8 新土，連作土へのウメを原料とした木炭の混和とポット植栽樹の器官別乾物重(g)

		新梢	主幹	根幹	細根 ^z	太根 ^z	地上部	地下部	全体
新土	ウメ徒長枝900 炭 ^y	72 a ^x	81 a	96 a	34 a	40 a	153 a	170 a	323 ± 8 ^w a
	無混和	53 b	74 ab	96 a	22 a	36 a	126 b	154 ab	280 ± 11 ab
連作土	ウメ徒長枝900 炭	64 ab	71 b	71 a	31 a	33 a	135 ab	135 ab	270 ± 14 b
	無混和	56 b	67 b	62 a	23 a	30 a	123 b	115 b	238 ± 11 b

^z細根は直径0.2cm以下，太根0.2cm以上

^y木炭の混和割合は1.5% (DW/V)

^xTukeyの多重検定により異符号間に5%水準で有意差があることを示す (n=5)

^w平均値 ± 標準誤差

4. 連作ほ場における木炭の混和がウメ幼木の生育に及ぼす影響 (試験 4)

試験終了時点の幹径は，土壤消毒したヒノキ 700 炭区およびウメ 700 炭区が消毒なしの無混和区に比べて大きかった (表 9)．解体時の乾物重は，新梢および地上部では土壤消毒したヒノキ 700 炭区が土壤消毒なしのすべての区に比べて重かった (表 10)．主幹では土壤消毒したヒノキ 700 炭区が土壤消毒なしの無混和区およびウメ徒長枝 700 炭区に比べて重かった．全体では土壤消毒したヒノキ 700 炭区が土壤消毒なしのすべての区および土壤消毒した無混和区に比べて重い傾向であり，土壤消毒したウメ徒長枝 700 炭区が土壤消毒なしのウメ徒長枝 700 炭区および無混和区に比べて重い傾向であった．

表9 連作土に対する薬剤消毒および木炭の混和と幹径(mm)^z

		2010年		2011年	
		12/16		11/14	
消毒なし	無混和	11.2		17.0 ± 1.9 ^y	
	ヒノキ700 炭	11.2		18.8 ± 2.3	
	ウメ徒長枝700 炭	11.2		17.6 ± 1.9	
土壤消毒	無混和	11.2		19.9 ± 2.4	
	ヒノキ700 炭	11.2		22.1 ± 2.3	
	ウメ徒長枝700 炭	11.2		21.6 ± 2.6	
有意性 ^x		ns		ns	

^z木炭の混和割合は2% (DW/V)

^y平均値 ± 標準誤差 (n=4)

^xTukeyの多重検定によりnsは有意差がないことを示す

表10 連作土に対する薬剤消毒および木炭の混和と器官別乾物重(g)^z

		新梢	主幹	根幹	細根 ^y	太根 ^y	地上部	地下部	全体
消毒なし	無混和	79 b ^x	66 b	70 a	20 a	59 a	145 b	149 a	294 ± 81 ^w a
	ヒノキ700 炭	137 b	81 ab	96 a	22 a	83 a	217 b	201 a	419 ± 105 a
	ウメ徒長枝700 炭	109 b	76 b	66 a	24 a	82 a	185 b	171 a	356 ± 83 a
土壤消毒	無混和	181 ab	95 ab	85 a	22 a	94 a	276 ab	202 a	477 ± 123 a
	ヒノキ700 炭	362 a	153 a	89 a	31 a	129 a	515 a	249 a	764 ± 42 a
	ウメ徒長枝700 炭	231 ab	116 ab	116 a	26 a	160 a	346 ab	301 a	648 ± 179 a

^z木炭の混和割合は2% (DW/V)

^y細根は直径0.2cm以下，太根0.2cm以上

^xTukeyの多重検定により異符号間に5%水準で有意差があることを示す (n=4)

^w平均値 ± 標準誤差

5. ウメ伐採樹の炭化方法の違いが連作ほ場植栽のウメ幼木の生育に及ぼす影響 (試験 5)

試験終了時点の幹径は，土壤消毒なしで炭無混和の区が土壤消毒の有無に関わらずウメ徒長枝 650 炭区に比べて大きい傾向であった (表 11)．解体時の乾物重は，新梢，主幹，地上部および全体では土壤消毒なしのウメ徒長枝 650 炭区が土壤消毒ありの無混和区に比べて軽かった (表 12)．全体重は土壤消毒なしのウメ徒長枝 650 炭区が他の区に比べて軽い傾向であった．土壤消毒ありのウメ徒長枝 650 炭区は土壤消

表11 連作土に対する薬剤消毒，木炭の混和と幹径(mm)^z

		2012年	
		2/20	11/19
消毒なし	無混和	8.4	21.9 ± 2.5 ^y
	ヒノキ650 炭	8.4	22.0 ± 1.5
	ウメ2年枝650 炭	8.4	20.3 ± 2.6
	ウメ2年枝850 炭	8.4	19.8 ± 1.8
	ウメ徒長枝650 炭	8.4	16.6 ± 1.0
土壤消毒	無混和	8.4	24.7 ± 1.5
	ヒノキ650 炭	8.4	22.7 ± 0.6
	ウメ2年枝650 炭	8.4	23.3 ± 0.4
	ウメ2年枝850 炭	8.4	21.4 ± 0.8
	ウメ徒長枝650 炭	8.4	18.7 ± 0.2
有意性 ^x		ns	

^z木炭の混和割合は2% (DW/V)

^y平均値 ± 標準誤差 (n=3-4)

^xTukey-Kramerの多重検定によりnsは有意差がないことを示す

毒なしのウメ 2年枝 850 炭区およびウメ徒長枝 650 炭区を除くすべての区に比べて軽い傾向であった。

表12 連作土に対する薬剤消毒および木炭の混和と器官別乾物重(g)²

		新梢	主幹	根幹	細根 ^y	太根 ^y	地上部	地下部	全体
消毒なし	無混和	253 ab ^x	102 ab	67 a	21 a	136 a	356 ab	223 a	579 ± 156 ^w ab
	ヒノキ650 炭	260 ab	115 ab	85 a	42 a	165 a	375 ab	292 a	667 ± 130 ab
	ウメ2年枝650 炭	238 ab	97 ab	73 a	23 a	194 a	334 ab	290 a	624 ± 178 ab
	ウメ2年枝850 炭	193 ab	93 ab	63 a	17 a	110 a	286 ab	189 a	475 ± 110 ab
	ウメ徒長枝650 炭	92 b	59 b	51 a	14 a	67 a	151 b	131 a	282 ± 53 b
土壌消毒	無混和	363 a	138 a	116 a	24 a	216 a	501 a	356 a	856 ± 134 a
	ヒノキ650 炭	288 ab	113 ab	97 a	31 a	139 a	402 ab	267 a	669 ± 66 ab
	ウメ2年枝650 炭	321 ab	114 ab	95 a	24 a	152 a	435 ab	271 a	706 ± 68 ab
	ウメ2年枝850 炭	285 ab	106 ab	70 a	19 a	145 a	391 ab	234 a	625 ± 71 ab
	ウメ徒長枝650 炭	143 ab	75 ab	56 a	16 a	87 a	219 ab	159 a	378 ± 12 ab

²木炭の混和割合は2%(DW/V)

^y細根は直径0.2cm以下,太根0.2cm以上

^xTukey-Kramerの多重検定により異符号間に5%水準で有意差があることを示す

^w平均値 ± 標準誤差 (n=3-4)

6. 簡易炭化炉で炭化したウメ炭の理化学特性および生育障害軽減効果 (試験6)

炭化温度の最高値は細枝炭でやや低かったものの,各区とも 500 程度にまで達していた(図2)。作出した木炭の理化学特性について,pHは材料の枝が細いほど高く,メチレンブルー吸着能と比表面積は細枝炭,徒長枝炭,太枝炭の順に大きかった(表13)。根抽出液中のフェノール性物質および安息香酸含量は,細枝炭,徒長枝炭,太枝炭を添加した区の順に少なく,プルナシン含量はどの炭を添加した区も検出限界以下であった(表14)。ベンズアルデヒド含量は細枝炭,徒長枝炭を添加した区で検出限界以下であった。検定植物の根伸長障害率は,材料の枝が細いほど低かった(表15)。

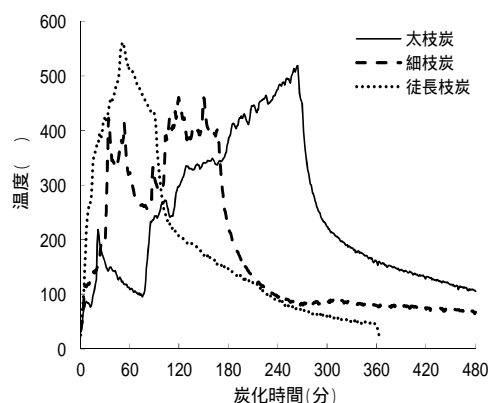


図2 ウメ枝の形状と簡易炭化炉内の温度
2009年11月に炭化
炭化炉中央部の高さ10cmで測定

表13 簡易炭化炉で作出したウメの木炭の理化学特性

	pH	メチレンブルー 吸着能	比表面積 (m ² /g)
太枝炭 ²	7.7	10.2	16.8
細枝炭	8.1	21.9	234.9
徒長枝炭	8.6	16.8	105.3

²太枝は10~15cm,細枝は10cm以下の1年生徒長枝を除く枝

表14 簡易炭化炉で作出したウメの木炭の根水抽出液への添加後の各成分含量

	ポリフェノール (mg/L)	プルナシン (mg/L)	ベンズアルデヒド (mg/L)	安息香酸 (mg/L)
太枝炭 ²	73	0	0.24	13.9
細枝炭	14	0	0	3.0
徒長枝炭	28	0	0	8.9
対照(炭無添加)	140	3.94	0.77	15.6

²CEはクロロゲン酸相当量を示す

^y太枝は10~15cm,細枝は10cm以下の1年生徒長枝を除く枝

表15 簡易炭化炉で作出したウメの木炭の連作土への添加と検定植物の根の伸長障害率²

	根伸長 障害率(%)
無添加	41
太枝炭	35
細枝炭	10
徒長枝炭	7

²寒天のみ(土壌無添加)に対する障害率

考 察

筆者らはこれまでに、いくつかの木質系活性炭の土壌への 1%混和がウメの連作障害対策に有効であることを明らかにした(大江ら, 2019a)。活性炭は主に工業に用いられるため高い均質性を備えており高価となるが、連作障害低減用資材としては活性炭ほどの均質性は不要と考えられる。また、和歌山県のウメ産地周辺にはウメをはじめとする果樹の伐採樹やせん定枝、林産廃棄物など未利用の木質資源が豊富にある(玄地ら, 2009)。木炭は消臭、水質浄化、調湿、鮮度保持等の多岐に利用され、農業では通気性や透水性の改善のための土壌改良資材としても有効である(金子, 2009; 西原・元木, 2009; 坂本・谷川, 2008)。そこで、連作障害対策の処理コスト低減や未利用資源活用等を目的に、ウメの生育障害軽減に有効な木炭の作出方法を検討した。

筆者らは、ウメの連作障害には熱に安定的なフェノール性物質が関与していると推察しており(大江ら, 2018, 2019a)、ウメ連作障害対策用の炭資材はフェノール性物質の吸着性が高いものが有効であると判断される。また、レタスを用いた幼植物検定で根の伸長障害軽減能が高い数種の活性炭が、連作土におけるウメ幼木の生育改善にも有効であることを確認している(大江ら, 2019a)。これらのことから、橋本ら(2013)は幼植物検定がウメのアレロパシー活性を評価する指標となり得ると考え、ウメせん定枝や林産間伐材等を原料として炭化温度を変えて木炭を作出し、ウメ根に含まれるフェノール性物質の吸着能やレタスの根長障害軽減能を調査している。その結果、同じ原料でも炭化温度が高い方がフェノール性物質の吸着能およびレタスの根伸長障害軽減能が高い傾向であること、比表面積とフェノール性物質の吸着能、レタスの根伸長障害軽減能と間には正の相関関係があることを明らかにしている。その要因について、同じ原料でも炭化温度が高い方が比表面積が大きく、孔径が小さくなり吸着力が高くなることが知られている(西原・元木, 2009)。今西ら(2006)はスギチップで作成した木炭では、炭化温度が大きいほど比表面積が大きく累積細孔容積が大きい傾向であることを報告している。よって、比表面積や孔径の大きさの違いがフェノール性物質の吸着能に影響したものと判断される。

本試験では他の生育障害物質として、青酸配糖体およびその分解物に対する木炭の吸着性も調査し、数種の木炭は活性炭と同等にそれら物質やフェノール性物質を吸着することが明らかとなった。また、各種木炭の安息香酸吸着能とレタスの根長障害軽減能との間には関係性がみられたことから、安息香酸がレタスの生育障害物質の 1 つとして関与している可能性が示唆された。ただし、本試験の簡易炭化装置で作出したウメ炭の場合において、それらの関係性が強くは認められなかったことから、他の成分の吸着性もウメの生育障害軽減に大きく関与すると考えられ、今後検討する必要がある。

浦田ら(2006)は黒炭窯を用いて雑広葉樹で作成した木炭をメロン栽培土壌に 0.1~0.2%混和した場合に苗木の茎が太くなり根の張りが良くなったと報告している。同様に本試験でも 900 で炭化したウメ徒長枝炭の新土への 1.5%の混和でウメの地上部の生育が良くなった。一方、ヒノキについて石井・門屋(1993a, 1993b)は、オガクズおよび樹皮の水抽出液がイネに対して著しい生育障害作用を示し、それらに含まれるフェノール性物質が関与すること、堆肥化させても生育障害物質のない堆肥を簡便に作ることは難しいことを報告している。南雲ら(2014)は、炭化物によってはフェノール性物質や多環芳香族炭化水素を含み、発芽障害や生育障害を引き起こすものがあるため、竹炭のコマツナの発芽に対する影響を調査し、竹炭には発芽障害を引き起こすほどのフェノール性物質や多環芳香族炭化水素は含まれないと結論づけている。本試験で 700 以上の温度で炭化

したヒノキ炭は土壤に10%混和してもウメに対する生育阻害作用を示さなかったことから、竹炭と同様、このようなヒノキ炭にはウメの生育に影響するほどのフェノール性物質等の生育阻害物質は含まれないと推察される。一方、650 で炭化したウメ徒長枝炭の混和により生育が抑制された。この要因がフェノール性物質等の残存によるかどうかは不明で、生育阻害を引き起こさなかったウメ炭に比べて小さい比表面積が影響している可能性も考えられるが、ウメに木炭を用いる場合には作出条件にも注意する必要があると判断される。

木炭は肥料成分の吸着や供給にも関与しており、菊池ら(2010)は水への木炭の添加量を変えて水抽出液を作成してコマツナに与えたところ、木炭の添加量が多いと生育が阻害され、炭化物から抽出された高濃度の陽イオンが要因であると報告している。今野・西川(1993)はコマツナおよびダイコンに木炭を施用した場合、炭化温度が高いものほど植物体への窒素吸収が抑制され、その要因が木炭への窒素の吸着固定によると報告している。一方、カリウムについては木炭中の可給体カリウム含量が反映され、木炭施用により吸収量が増加すると報告している。また、ハウレンソウにおいて、木炭の無機態窒素保持能により窒素利用率が向上することが知られている(平田,1996)。しかし、塚越ら(2005)は、ナシせん定枝の炭化物は硝酸態窒素の流亡を抑える作用を示したものの、コマツナの生育にほとんど影響しなかったと報告している。このように肥料成分の吸着性や植物生育への影響は多様であり、要因として木炭の作出条件が関与するのではないかと考えられる。そこで、城村ら(2014)は原料および炭化温度を変えた木炭の肥料成分の吸着特性を調査し、原料によってやや異なるものの、800~900 程度の高温で炭化した場合に窒素成分等の吸着率が高くなる傾向であることを報告している。このことから、高温で炭化した木炭の肥料成分の吸着性はウメの生育に影響すると考えられたが、本試験において900 で炭化したヒノキ炭を土壤に10%混和してもウメに対する生育阻害作用を示さなかったことから、適量の施肥を行えば肥料成分吸着による生育への影響はないと判断される。

筆者らは、土壤消毒と木質系活性炭の1%混和の併用処理がそれらの単独処理に比べて連作障害低減により有効であることを明らかにしている(大江ら,2019b)。本試験で、連作土を土壤消毒して700 で炭化したヒノキ炭を2%混和することで生育改善される傾向が認められ、活性炭と同様にウメの連作障害対策に利用できることが明らかとなった。

次に、連作障害軽減に有効な木炭を簡易に作出する方法を検討した。石井(2008)はステンレス製の薄板で組み立てた簡易炭化炉でモウソウチクを材料として炭化を行い、固定炭素率の高い炭を製造できるとしている。そこで、この簡易炭化炉の約200L容量および約700L容量のものを用いてウメの枝を炭化したところ、ウメの生育に対する効果は確認していないが、直径10cm以下の枝を原料とすれば比表面積が大きく、ポリフェノールや安息香酸といった生育阻害物質の吸着能が高く、レタスの根伸長阻害軽減能を有する木炭が作出できることが明らかとなった。

以上のことから、土壤消毒とウメまたはヒノキ木炭の2%混和との併用により、連作土に定植したウメ幼木の生育改善効果が確認された。一方で、炭化条件によっては養分吸着および生育抑制の悪影響がみられ、ウメに木炭を用いる場合には作出条件に注意する必要があると判断された。

摘 要

本試験では未利用資源を原料とした連作障害対策に有効な木炭の作出方法を検討した。

1. 数種の木炭は活性炭と同等に青酸配糖体およびその分解物並びにフェノール性物質を吸着した。

2. 土壌消毒とウメまたはヒノキ木炭の2%混和との併用により、連作土に定植したウメ幼木の生育改善効果が確認された。
3. 炭化条件によっては養分吸着および生育抑制の悪影響がみられ、ウメに木炭を用いる場合には作出条件に注意する必要があると判断された。

引用文献

- 玄地 裕・鳥飼 仁・梶本武志・請川孝治. 2009. 和歌山県における果樹剪定枝を利用したバイオマス燃料システム. 第4回日本LCA学会研究発表会講演要旨集: 238-239.
- Gur, A. and Y. Cohen. 1988. Causes of soil sickness in replanted peaches: 1. The role of cyanogenesis in peach soil sickness. *Acta Hort.* 233: 25-31.
- 濱口隆章・阪本勝則・梶本武志・大谷慶人. 2006. 各種木質炭化物のメチレンブルー吸着特性. 日本木材学会中国・四国支部第18回研究発表会要旨集: 24-25.
- 橋本千賀子・大江孝明・水口裕介・西原英治. 2013. 連作障害対策のためのウメ園地改植方法の検討 - 各種木質系炭化物(バイオ炭)の評価 -. *木質炭化誌*. 9: 75-81.
- 平野 暁. 1977. 作物の連作障害. *農文協*. 101-108.
- 平田 滋. 1996. 木炭の硝酸態窒素保持機能. *農業技術体系. 土壌肥料編*. 第7巻 pp. 156の1-8. *農文協*. 東京.
- 本間知夫・馬場純子. 2014. 梅の種の炭化による有効活用法の検討. *前橋工科大研究紀要*. 17: 27-29.
- 今西隆男・松岡良昭・幾井垂弓・吉岡祐一・甲斐登紀雄. 2006. 大型電気加熱炭化炉による杉チップの炭化. *木質炭化学誌*. 3: 45-52.
- 石井 哲. 2008. 簡易軽量炭化炉及び炭化技術の開発. *岡林試研報*. 24: 45-55.
- 石井孝昭・門屋一臣. 1993a. カラタチおよびイネの生長に及ぼすスギならびにヒノキ材中の生育障害物質について. *園学雑* 62: 285-294.
- 石井孝昭・門屋一臣. 1993b. カンキツ園の土壌改良資材としてのスギ樹皮およびヒノキ樹皮の利用に関する研究. *園学雑* 62: 295-303.
- 城村徳明・大江孝明・橋本千賀子・西原英治・水口裕介・武田知明. 2014. 未利用資源を原料としたウメの連作障害炭の開発. *園学研*. 13(別1): 286.
- 亀山幸司・塩野隆弘・宮本輝仁・凌 祥之・上野正実・川満芳信・小宮康明. 2015. 地域バイオマス利活用システム[5] - 地域実証事例2 宮古島バイオマスプラント -. *農及園*. 90: 481-488.
- 金子文宜. 2010. 炭化技術による物資循環の適正化 - 炭化物の特性を活かした農業利用の事例紹介 -. *農及園*. 84: 144-153.
- 菊池弘貴・田中理子・吉澤秀治. 2010. コマツナ発芽・生育に対する炭化物の促進・阻害要因. *木質炭化学講演集*. 8: 24-25.
- 今野一男・西川介二. 1993. 炭化条件の異なる各種木炭粉の施用が畑作物の生育・養分吸収に及ぼす影響. *土肥誌* 64: 190-193.
- 水谷房雄. 1979. モモのいや地に関する研究(第2報)根に含まれる生育抑制物質としての縮合性タンニンについて. *園学雑*. 48: 279-287.
- Mizutani, F., R. Hirota and K. Kadoya. 1988. Growth inhibiting substances from peach roots and their possible involvement in peach replant problems. *Acta Hort.* 233: 37-43.

- 元木 悟・西原英治・平館俊太郎・藤井義晴・篠原 温. 2006. 新規に開発した手法を利用したアスパラガス根圏土壌のアレロパシー活性測定. 園学研. 5: 443-446.
- 南雲俊之・安藤真奈美・森 智郁. 2014. 竹炭の成分組成から見た土壌改良資材としての特徴. 土肥誌 85: 37-42.
- 西原英治・元木 悟. 2009. 活性炭の農業利用 - 土地浄化の新技术 - . pp. 21-28, 61-63. 農文協. 東京.
- 大江孝明・岩尾和哉・細平正人・菅井晴雄. 2003. ウメ・南高'幼木の成長に及ぼす根含有成分の影響. 和歌山県農林水技セ研報. 4: 23-32.
- 大江孝明・城村徳明・西原英治・水口裕介・岡室美絵子. 2019a. ウメの連作障害に関する研究(第2報)ウメ連作土への活性炭の混和がウメ幼木の生育に及ぼす影響. 和歌山県農林水研報. 7: 107-118.
- 大江孝明・城村徳明・岡室美絵子・西原英治. 2018. ウメの連作障害に関する研究(第1報)ウメ連作土壌および根含有成分の生育阻害作用の評価. 和歌山県農林水研報. 6: 51-59.
- 大江孝明・下 博圭・武田知明・城村徳明・和中学. 2019b. ウメの連作障害に関する研究(第3報)ウメ連作土に対する土壌消毒, 活性炭混和並びにそれらの併用処理がウメ幼木の生育に及ぼす効果. 和歌山県農林水研報. 7: 119-127.
- Ohigashi, H., S. Minami, H. Fukui, K. Koshimizu, F. Mizutani, A. Sugiura and T. Tomana. 1982. Flavanols, as plant growth inhibitors from roots of peach, *Prunus persica* Batsh. cv. 'Hakuto'. Agric. Biol. Chem. 46: 2555-2561.
- 大坪孝之・池田富喜夫. 1994. ウメ種子に含まれる青酸配糖体の消長. 園学雑. 62: 695-700.
- 坂本 清・谷川法聖. 2008. リンゴせん定枝炭化資材の施用がリンゴ苗木の生育及び土壌に及ぼす影響. 園学研. 7(別2): 133.
- 寺田久屋・山本勝彦. 1992. 高速液体クロマトグラフィーによる梅加工食品中のシアン配糖体, ベンズアルデヒド及び安息香酸の同時定量法の検討. 食衛誌. 33: 183-188.
- 塚越 覚・吉本葉子・佐藤玲子・篠山浩文・野田勝二・野間 豊. 2005. 炭化したナシ剪定炭の野菜栽培用土としての有効利用. 園学研. 4: 287-290.
- 浦田光雅・及川洋征・神田修平・石川駿二・伊藤発郎・藤田 勝・福田清春. 2006. メロン栽培に及ぼす土壌への木炭混入効果. 木質炭化学誌. 3: 23-28.